

## 자성유체 스피커의 음질 성능 및 향상에 관한 실험적 연구

이무연<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>동아대학교 기계공학과

Experimental study of the sound quality performance and improvement of magnetic  
fluid speaker

Moo-Yeon Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Dong-A University

### 요 약

본 연구의 목적은 자성유체 스피커의 보이스 코일 방열 및 음질 저하 문제를 극복하기 위하여 무향실내에서 자성유체 스피커의 음 왜곡률, 음압레벨 및 주파수 특성과 같은 음질 성능 특성을 고찰하는 것이다. 이를 위하여 자성유체 스피커에서 자성유체 주입량 및 영구자석 자력을 변화시켜가면서 음압 성능을 측정하였다.

그리고 스피커의 음 왜곡률, 음압레벨 및 주파수 특성은 음향시스템 측정 프로그램인 Smarrt를 이용하여 측정하였다. 결과적으로, 자성유체의 주입량은 2.4 ml로 결정되었고, 자성유체를 주입할 경우 음 왜곡률 및 음압레벨은 향상되었다. 자성유체 스피커에서 영구자석의 자력을 8.06 mT에서 9.10 mT로 증가시킬 경우 주파수 특성 및 음압레벨은 더욱 향상되었다. 또한, 자성유체 스피커의 음 왜곡률은 일반 스피커에 비하여 약 0.01% 감소하였다.

### Abstract

The aim of this study was to experimentally investigate the sound quality characteristics, such as sound deflection, sound pressure level and frequency characteristics of a magnetic type speaker in an anechoic chamber to overcome the sound quality and voice-coil temperature problems. To accomplish this, the sound quality performance of the magnetic type speaker was tested according to the magnetic fluid amount and magnetic field intensity. The sound deflection, sound pressure level, and frequency characteristics were measured using the Smarrt program. As a result, at a magnetic fluid amount of 2.4 ml, the sound deflection and the sound pressure level of the magnetic type speaker were enhanced by comparing with those of the general type speaker. The frequency characteristics and the sound pressure level of the magnetic type speaker were enhanced greatly with increasing magnetic field intensity from 8.06 mT to 9.10 mT. In addition, the sound deflection of the magnetic type speaker was 0.01% lower than that of the general type speaker.

**Key Words** : Distortion, Sound pressure, Sound quality, Speaker, Voice-coil

## 1. 서론

세계 스피커 산업은 미국과 일본이 주도하고 있으며 초창기에는 대형스피커의 음질 성능 및

본 논문(작품)은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

\*Corresponding Author : Moo-Yeon Lee(Dong-A Univ.)

Tel: +82-10-5440-8421 email: mylee@dau.ac.kr

Received July 25, 2014

Revised August 14, 2014

Accepted December 11, 2014

사운드 출력에 중점을 두고 연구 및 개발이 진행되었으나 최근에는 스피커의 수명과 소비 전력 등 시스템 자체의 성능 향상까지 중점을 두고 연구가 진행되고 있다. 즉 세계 스피커 시장의 흐름은 음질 성능, 디자인 및 가격 경쟁력을 고려한 제품이 시장에 출시되면서 점점 경쟁이 가열되고 있다. 따라서 해외 유명 스피커 개발 업체들은 고급 음향시스템의 수요가 증가함에 따라 스피커의 고성능화에 초점을 맞춘 제품 개발에 주력하고 있음. 일반적으로 이러한 스피커는 저음을 출력하는 우퍼(Woofers), 고음을 출력하는 트위터(Tweeter) 및 중간음을 내는 미드레인지(Mid range)로 구성되며, 이러한 스피커는 전기에너지를 음성에너지로 변환시키는 전기 음향 변환장치로서 음향 시스템의 전체 성능을 좌우하는 주요한 구성요소이다[1]. 과거의 스피커 개발은 고출력 및 고음질 등 높은 주파수 영역의 성능향상에 맞추어 연구가 이루어졌으나, 현재의 스피커 개발은 고출력/고음질은 물론 낮은 주파수 영역의 저출력/고음질 성능을 구현할 수 있도록 연구가 진행되고 있다. 이러한 저 주파수 대역을 담당하는 스피커로는 우퍼가 있으며, 여러 스피커의 종류 중 우퍼는 보빈과 보이스코일의 운동으로 인하여 상대적으로 고발열을 한다[2]. 특히, 우퍼 내부에서 소리 생성에 핵심 역할을 담당하고 있는 보이스코일의 고발열 문제는 우퍼 내부 관련 부품에 손실을 줄 수 있으며, 보이스코일의 연소, 풀림 및 영구자석 자력손실로 인한 우퍼의 불량률 증가를 야기할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 국내 및 국외에 스피커 업체는 보이스코일의 열 제어 문제와 음질 저하를 극복하기 위하여 다양한 연구를 수행하고 있으며, 자성유체를 스피커에 적용하여 보이스코일의 방열문제를 해결하여 음질 성능을 높이는 방안에 대하여 적극적인 개발 및 연구를 진행하고 있다[3]. 따라서 본 연구에서는 자성유체 스피커의 음 왜곡률(Sound distortion), 주파수 특성(Frequency) 및 음압 레벨(Sound pressure level)과 같은 음질 성능(Sound quality)에 대하여 실험적으로 고찰하는 것이다. 더불어, 일반 스피커와 자성유체 스피커의 전반적인 성능 특성을 비교하였고, 보이스코일 온도의 온도 특성에 관하여 비교 및 분석하여 자성유체 스피커 개발에 기여하고 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 일반 스피커 및 자성유체 스피커의 성능 측정 및 평가를 위하여 Table 1과 같은 스피커를 무향실내에서 실험하였다. 보이스코일 직경 및 높이가 각각 38.61 mm와 38.55 mm이고 정격출력이 200W인 스피커를 사용하였다. 자성유체 스피커 제작을 위한 자성유체 주입량은 0.8 ml, 1.6 ml 및 2.4 ml로 변화시켰으며, 본 연구에서 적용된 자성유체의 주입량에 대한 결정은 FerroTec Co.에서 제시한 이론식을 이용하여 산출하였다[4]. 자성유체는 마이크로 주사기를 이용하여 보이스코일에 주입하였으며, 영구자석과의 상호작용에 따라 보

[Table 1] Specifications of the tested speakers

Item	Specification
Model	LS-8200
Size (mm)	206 X 90
Power rating (W)	200 (Normal) / 400 (Max)
Impedance ( $\Omega$ )	$8.0 \Omega \pm 1.2 \Omega$
Sound pressure level (SPL, dB)	$95 \text{ dB/W} \pm 2.0 \text{ dB}$
Voice coil size (D/H, mm)	38.61 / 38.55
Magnetic fluid (APGS12N, ml)	0.8, 1.6, 2.4



(a)



(b)

[Fig. 1] Pictures of the test set-up for speakers (a) Anechoic chamber (b) Test set-up

이스 코일 전방에 배열된다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 무향실 및 음향 측정을 위한 개략도이다. 실험 장치는 Fig. 1 (a)와 같은 무향실 및 무향실내 스피커 실험을 위한 음질/음압 측정을 위한 측정용 마이크로 폰(Microphone), 실험용 스피커(Speaker), 스피커에 입력 신호를 증폭하기 위한 앰프(Amplifier, Europower PMX 3000), 신호발생 프로그램인 Biwavegen generator, 측정용 프로그램인 Pulse 및 Smarrt로 구성되어 있다. 본 연구에서 사용한 무향실은 음향성능 및 소음진동을 시험하기 위하여 Twin Acoustic Chamber Type 을 사용하였고, 벽, 천장과 바닥에는 흡음 Wedge가 부착되어 바닥 외 음파의 특성 이음의

간섭 및 반사 회절이 없는 완전한 자유음장 구현하였다[5]. 무향실 암소음은 18 dB(A, 공조 기정지시) 및 22 dB(A, 공조기가동시)이고, 무향실내 온도 및 습도 조건은 다음과 같다. 온도는 7 °C ~ 48 °C의 ± 0.1 °C이고, 습도는 20 % ~ 86 %의 ± 5 %이며, KS 규격을 적용하였다. 일반 스피커 및 자성유체 스피커의 음 왜곡률, 음압레벨 및 주파수 특성은 음향 시스템 측정 프로그램인 Smarrt를 이용하여 측정하였다. 자성유체 스피커의 음질 성능을 평가하기 위하여 측정한 음 왜곡률, 음압레벨 및 주파수 측정 방법은 다음과 같다. 먼저, 전 영역 주파수에서 스피커의 음 왜곡률 및 주파수 특성을 평가하기 위하여 무향실내 Pink noise를 스피커에 인가하고 Smarrt 프로그램을 이용하여 각각의 특성을 파악하여 서로 비교 및 분석을 진행하였다. 일반적으로 주파수 특성은 스피커에 사용되는 보빈 선정에 활용된다[6]. 일반 스피커 및 자성유체 스피커의 음압레벨은 Pulse프로그램을 이용하여 특정 주파수인 1000 Hz 영역에서 측정하였고, 서로 비교/분석하였다. 음압레벨은 일반적으로 스피커에 사용되는 영구자석 및 보이스 코일 선정에 활용된다[7]. Table 2는 본 연구에서 사용한 실험 조건이다. 음 왜곡률, 음압레벨 및 주파수 특성을 파악하기 위하여, 실험 대상 스피커는 무향실내 위치하고, 마이크로 폰은 스피커에서 1.0 m 거리의 상면/ 하면/ 좌측면/ 우측면 위치에 위치시켰으며, 스피커에서 나온 음파는 60 sec동안 측정하였다.

[Table 2] Experimental conditions

Item	Specification
Measuring time (sec)	60
Measuring position (m)	1.0 from speaker (Top/Bottom/Left/Right/Front)
Frequency	Pink noise
Anechoic chamber size (m)	4.8 X 4.8 X 4.0

### 3. 실험결과 및 고찰

Table 3은 Pink noise에서 측정 시간 30 sec 경과 후 자성유체 스피커의 자성유체 주입량에 따른 음압레벨을 측정한 결과이다. 고 측정시간은 30 sec이며 pink noise에서 측정하였다. 자성유체 주입량 2.4 ml에서 음압레벨이 다른 주입량에 비하여 가장 높게 나타났으며, 본 연구에서는 자성유체 스피커의 적정 자성유체 주입량을 2.4 ml로 간주하였다.

[Table 3] Test results of the magnetic type speaker with the magnetic fluid amount

Magnetic fluid amount (ml)	Sound pressure level (dB)
0.8	101.1
1.6	100.7
2.4	100.8

Fig. 2는 일반 스피커와 자성유체 스피커의 음 왜곡률에 대한 실험결과를 나타낸다. 자성유체 스피커의 자성유체 주입량은 2.4 ml이며, 자성유체 스피커의 음 왜곡률은 일반스피커에 비하여 약 0.01% 감소하는 경향을 나타내고 있다. 따라서 자성유체를 보이스코일에 적용함으로써 일반 스피커의 음 왜곡현상을 개선할 수 있었다.



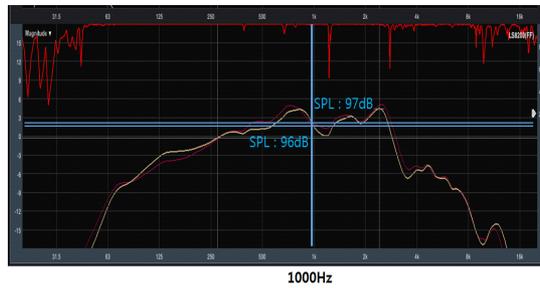
(a)



(b)

[Fig. 2] Comparisons of the sound deflection between the general type speaker and the magnetic type speaker (a) Magnetic type speaker (b) General type speaker

Fig. 3은 일반 스피커와 자성유체 스피커의 음압레벨에 대한 실험결과를 나타내고 있으며, 자성유체 주입량 2.4 ml에서 자성유체 스피커 및 일반 스피커의 음압레벨을 비교하였다. 1000 Hz에서 자성유체 스피커의 음압레벨은 97 dB이고 일반 스피커의 음압레벨은 96 dB로 자성유체 스피커는 일반 스피커에 비하여 음압레벨 1 dB로 비교적 작게 향상되었다. 이러한 이유로는 음압레벨 결정의 핵심 요소인 영구 자석의 세기를 자성유체 주입과 함께 변화시키지 않았기 때문이다.



[Fig. 3] Comparisons of the sound pressure level between the general type speaker and the magnetic type speaker with 2.4 ml

Fig. 4는 자성유체 주입량 2.4 ml에서 자성유체 스피커에서 영구자석의 자력을 8.06 mT에서 9.10 mT로 증가시킬 경우의 최대 음압레벨을 나타낸다. 영구자석의 자력 8.06 mT인 자성유체 스피커의 최대 음압레벨은 100 dB이고, 영구자석의 자력 9.10 mT인 자성유체 스피커의 최대 음압레벨은 103 dB이다. 즉 자성유체 스피커에서 영구자석의 세기를 증가시킬 경우 음압레벨이 향상됨을 알 수 있다.



[Fig. 4] Comparisons of the maximum sound pressure level for the magnetic type speaker with variations of magnetic field intensity

Fig. 3과 Fig. 4의 결과에서 보듯이, 자성유체 스피커의 음압레벨을 향상시키기 위해서는 자성유체의 주입과 영구자석의 자력을 같이 변화시켜야 함을 알 수 있으며, 이러한 결과는 향후 자성유체 스피커 개발 및 성능 향상에 기초 자료로 활용될 것이다.

Fig. 5는 일반 스피커와 자성유체 주입량 2.4 ml에서 자성유체 스피커의 주파수 특성을 나타낸다. Pulse 프로그램을 이용하여 Pink noise에서 자성유체 스피커와 일반 스피커의 주파수 특성은 일부 구간에서는 자성유체 스피커가 높고 일부 구간에서는 낮은 영역이 반복되었으며, 평균적으로 비슷한 경향을 나타내었다. 따라서 자성유체는 스피커의 주파수 특성의 변화에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.



[Fig. 5] Comparisons of the frequency characteristics between the general type speaker and the magnetic type speaker with 2.4 ml

Fig. 6은 자성유체 주입량 2.4 ml에서 자성유체 스피커에서 영구자석의 자력을 8.06 mT에서 9.10 mT로 증가시킬 경우의 주파수 특성을 나타낸다. 영구자석의 자력 8.06 mT인 자성유체 스피커의 주파수 특성은 200 Hz ~ 3.5 KHz이고, 영구자석의 자력 9.10 mT인 자성유체 스피커의 주파수 특성은 63 Hz ~ 15 KHz로 나타났다. 즉 자성유체 스피커에서 영구자석의 세기를 증가시킬 경우 주파수 특성이 향상됨을 알 수 있다. Fig. 5와 Fig. 6의 결과에서 보듯이, 자성유체 스피커의 음압레벨을 향상시키기 위해서는 자성유체의 주입과 영구자석의 자력을 같이 변화시켜야 함을 알 수 있으며, 이러한 결과는 음압레벨 결과와 함께 향후 자성유체 스피커 개발 및 성능 향상에 기초 자료로 활용될 것이다.



[Fig. 6] Comparisons of the frequency characteristics for the magnetic type speaker with variations of magnetic field intensity

#### 4. 결론

본 연구는 자성유체 스피커의 음질 성능 특성을 파악하기 위하여 자성유체 주입량 및 영구자석의 자력을 변화시켜가면서 실험을 진행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 자성유체 스피커의 자성유체 주입량은 2.4 ml로 선정하였다.
- 2) 자성유체 스피커의 음 왜곡률은 일반 스피커에 비하여 약 0.01% 감소하였다.
- 3) 1000 Hz에서 자성유체 스피커의 음압레벨은 97 dB이고 일반 스피커의 음압레벨은 96 dB로 나타났으며, 자성유체 스피커의 음압레벨을 향상시키기 위해서는 자성유체의 주입과 영구자석의 자력을 같이 변화시켜야 한다.
- 4) 자성유체 스피커와 일반 스피커의 주파수 특성은 평균적으로 비슷한 경향을 나타내었다.

## References

- [1] Moo-Yeon Lee, Hyung-Jin Kim and Woo-Young Lee, 2013, "Numerical analysis on temperature characteristics of the voice-coil for woofer speaker using ferrofluid", *J. of Kor. Mag. Soc.*, Vol. 23, No. 5, PP. 166-172.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4283/JKMS.2013.23.5.166>
- [2] Sei Jin Oh, Fundamentals of Loudspeaker Engineering, SeokHakDang, 2006, PP. 187-196.
- [3] Hyung-Jin Kim, Dea-Wan Kim and Mpp-Yeon Lee, 2013, "Experimental study on the heat transfer characteristics of woofer speaker unit", *J. of KAIS*, Vol. 15, No. 5, PP. 2623-2627.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.5.2623>
- [4] Jae-Hyeong Seo, Moo-Yeon Lee and Lee-Soo Seo, 2013, "Study of Natural Convection of Magnetic Fluid in Cubic Cavity", *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 37, No. 7, PP. 637-646.
- [5] Soo-Hyun Kim, Dong-Yeon Lee and Moo-Yeon Lee, 2010, "Analysis and suppression plan for structure and flow induced noise in a small refrigeration system", *J. of KAIS*, Vol. 11, No. 11, PP. 4129-4136.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.11.4129>
- [6] David C. Parker, 2004, "Speaker enclosure design on frequency response", Central Virginia Governor's School. PP. 1-15.
- [7] Jong-Oh Sun and Kwang-Joon Kim, 2012, "Isolation of vibrations due to speakers in audio-visual electronic devices without deteriorating vibration of speaker cone", *J. of Mechanical Science and Technology*, Vol. 26, No. 3, PP. 723-730.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12206-011-1227-9>

---

이 무 연(Lee, Moo-Yeon)

[정회원]



- 2010년 2월 : 고려대학교 기계공학부 (공학박사)
- 2011년 1월 : 고려대학교 기계공학과 (연구교수)
- 2011년 2월 ~ 2012년 8월 : 자동차부품 연구원 선임연구원
- 2012년 9월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

친환경 자동차 열관리, 전동식 히트펌프, 신재생에너지 변환 시스템, 열/물질전달, 연료전지, 나노유체, 자성유체